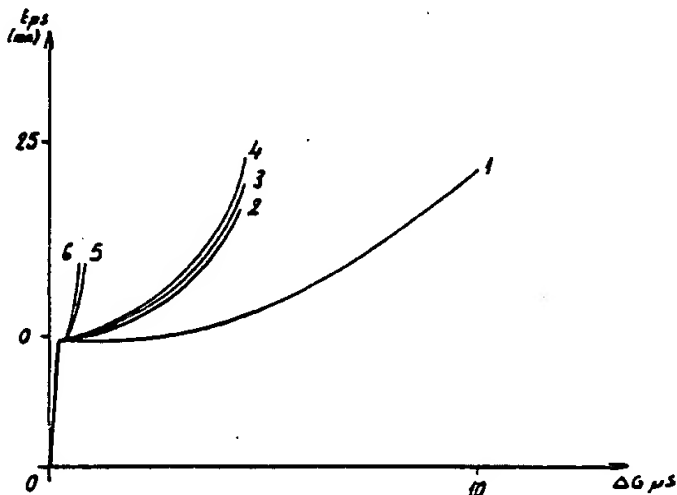




## DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets <sup>4</sup> :  <b>A61L 27/00, 15/04</b>	<b>A1</b>	(11) Numéro de publication internationale: <b>WO 88/ 10123</b>  (43) Date de publication internationale: 29 décembre 1988 (29.12.88)
(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR88/00303 (22) Date de dépôt international: 14 juin 1988 (14.06.88) (31) Numéro de la demande prioritaire: 87/08752 (32) Date de priorité: 15 juin 1987 (15.06.87) (33) Pays de priorité: FR (71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): CEN- TRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTI- FIQUE (CNRS) [FR/FR]; 15, quai Anatole-France, F-75007 Paris (FR). (72) Inventeurs; et (75) Inventeurs/Déposants (US seulement) : COLLOMBEL, Christian [FR/FR]; 34, rue de Trion, F-69005 Lyon (FR). DAMOUR, Odile [FR/FR]; 3, rue Charles-Lui- zet, F-69230 Saint-Genis-Laval (FR). GAGNIEU, Christian [FR/FR]; 10, rue du Docteur-Victor-Des- peignes, F-69008 Lyon (FR). POINSIGNON, Frédéri- que [FR/FR]; 1, rue du Lac, F-69003 Lyon (FR).		ECHINARD, Christian [FR/FR]; Mas de la Baume, F-13420 Gemenos (FR). MARICHY, Jacques [FR/ FR]; 2, rue des Balmes, F-69009 Lyon (FR). (74) Mandataire: CABINET GERMAIN et MAUREAU; B.P. 3011, F-69392 Lyon Cédex 03 (FR). (81) Etats désignés: JP, US. Publiée Avec rapport de recherche internationale.
(54) Title: NEW BIOMATERIALS BASED ON MIXTURES OF COLLAGEN, CHITOSAN, AND GLYCOSAMINO- GLYCANS, PROCESS FOR MANUFACTURING THEM, AND THEIR APPLICATION IN HUMAN MEDICINE (54) Titre: NOUVEAUX BIOMATERIAUX A BASE DE MELANGES DE COLLAGENE, DE CHITOSAN ET DE GLYCOSAMINOGLYCANS, LEUR PROCEDE DE PREPARATION AINSI QUE LEURS APPLICA- TIONS EN MEDECINE HUMAINE (57) Abstract <p>A biomaterial comprises at least one compound consisting of an association of collagen, acetylated chitosan with a degree of acetylation between approximately 10% and approximately 40%, and glycosaminoglycans. It is applicable in orthopedics and plastic surgery and in the production of extracellular matrices for the regeneration of nerve cells and bones and of biocompatible envelopes. It is particularly applicable to the production of an artificial skin consisting essentially of a velvet-type dermal layer obtained from biomaterials such as that described above. The process for obtaining this dermal layer consists in adding chitosan to a collagen solution, and then adding a mixture of chondroitin 4- and 6-sulphates to the collagen-chitosan solution.</p>  <p>(57) Abrégé</p> <p>Ce biomatériau comporte au moins un composé constitué par une association de collagène, de chitosan acétylé à un degré d'acétylation compris entre environ 10 et environ 40% et de glycosaminoglycans. Il trouve des applications en orthopédie et en chirurgie plastique et pour la réalisation de matrices extracellulaires pour la régénération des cellules nerveuses et des os ainsi que d'enveloppes biocompatibles. Une application particulière est la réalisation d'une peau artificielle essentiellement constituée d'une couche dermique de type velours obtenue à partir des biomatériaux tels que ceux décrits ci-dessus. Le procédé d'obtention de cette couche dermique consiste à ajouter une solution de collagène du chitosan, puis à ajouter à la solution collagène-chitosan un mélange de chondroïtines 4- et 6-sulfate.</p>		

**UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION**

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AT	Autriche	FR	France	ML	Mali
AU	Australie	GA	Gabon	MR	Mauritanie
BB	Barbade	GB	Royaume-Uni	MW	Malawi
BE	Belgique	HU	Hongrie	NL	Pays-Bas
BG	Bulgarie	IT	Italie	NO	Norvège
BJ	Bénin	JP	Japon	RO	Roumanie
BR	Brésil	KP	République populaire démocratique de Corée	SD	Soudan
CF	République Centrafricaine	KR	République de Corée	SE	Suède
CG	Congo	LI	Liechtenstein	SN	Sénégal
CH	Suisse	LK	Sri Lanka	SU	Union soviétique
CM	Cameroun	LU	Luxembourg	TD	Tchad
DE	Allemagne, République fédérale d'	MC	Monaco	TG	Togo
DK	Danemark	MG	Madagascar	US	Etats-Unis d'Amérique
FI	Finlande				

NOUVEAUX BIOMATERIAUX A BASE DE MELANGES DE COLLAGENE,  
DE CHITOSAN ET DE GLYCOSAMINOGLYCANES, LEUR PROCÉDE DE  
PREPARATION AINSI QUE LEURS APPLICATIONS  
EN MEDECINE HUMAINE

5 La présente invention concerne de nouveaux biomatériaux à base de mélanges de collagène, de chitosan et de glycosaminoglycanes, leur procédé de préparation ainsi que leurs applications notamment en dermatologie pour le recouvrement des brûlés et en chirurgie plastique.

10 Selon l'invention, ces nouveaux biomatériaux sont caractérisés en ce qu'ils comprennent au moins un composé constitué par une association de collagène, de chitosan et de glycosaminoglycanes.

Le chitosan, de préférence obtenu par simple désacétylation de la chitine, reste acétylé à un degré d'acétylation compris entre environ 10 % et environ 40 %.

15 Les biomatériaux selon l'invention peuvent être utilisés dans toutes les pertes de substance et pour la reconstitution de tous les tissus.

En effet, les caractéristiques physiques (résistance, élasticité, taille des pores, temps de dégradation...) peuvent être modifiées et adaptées à l'utilisation prévue en jouant sur la proportion des différents constituants.

20 Une fois implantée, la matrice extracellulaire que constitue ce biomatériau sera colonisée par les cellules adéquates qui reconstitueront in vivo le tissu qui leur est spécifique.

C'est ainsi que les ostéoblastes vont synthétiser un tissu conjonctif qui se calcifiera pour donner de l'os. Les fibroblastes donneront des tissus  
25 conjonctifs (dermes, artères...) et les cellules nerveuses des nerfs.

La présente invention va d'abord être décrite dans une de ses applications très importantes qui est une peau artificielle permettant la reconstitution simultanée du derme et de l'épiderme tout en évitant la formation de cicatrices hypertrophiques.

30 Cette peau artificielle, entièrement biodégradable, trouvera ses principales applications pour le recouvrement précoce des brûlés après excision précoce des tissus nécrosés, ainsi que pour le traitement des plaies cutanées de l'homme et des animaux.

On sait qu'en cas de brûlures profondes et étendues, il est  
35 indispensable de reconstruire le plus rapidement et le plus durablement possible une barrière cutanée imperméable, d'une part, pour protéger les brûlés des infections et des pertes calorico-azotées, d'autre part, le derme

sert de moule pour éviter les cicatrices hypertrophiques et les rétractions dues à la prolifération anarchique des fibroblastes.

Les homogreffes sont coûteuses et ne constituent pas une couverture efficace, car elles sont très souvent rejetées, ce qui entraîne un choc supplémentaire pour les malades.

Les techniques classiques d'autogreffe ne sont, par ailleurs, réalisables que dans le cas de brûlures moyennement étendues.

Les progrès de la réanimation médico-chirurgicale permettent, à l'heure actuelle, de maintenir en vie des brûlés atteints à 80 % de la surface cutanée. Ces progrès ont eu comme conséquence d'accroître les besoins en peau ou équivalent de peau.

De nombreuses recherches ont été entreprises dans ce but.

C'est ainsi que Green et O'Connor se sont donné pour but de reconstituer l'épiderme à partir de cultures de kératinocytes provenant des propres cellules du malade.

Bell et son équipe ont, par ailleurs, mis au point un équivalent de peau constitué d'une couche dermique de fibroblastes autologues et de collagène bovin et d'une couche épidermique de kératinocytes autologues.

Il convient de noter que la mise en oeuvre de ces deux techniques nécessite un temps d'attente de vingt-et-un jours (correspondant à la durée de culture des cellules) avant de pouvoir disposer de la peau artificielle convenant au patient.

Une troisième technique a été mise au point par Yannas et Burke (Jal of Biomedical Materials Research-Vol 14, 65-81, 107-131, 511-528 (1980) et FR-A-2 332 863).

La peau artificielle proposée par ces auteurs comprend deux couches :

- un équivalent dermique constitué de collagène de veau et d'un glycosaminoglycane (GAG), la chondroïtine 6-sulfate, et réticulé par du glutaraldehyde ;

- un pseudo-épiderme temporaire en résine de silicone, non-biodégradable limitant les pertes exudatives de la phase précoce et faisant office de barrière contre les agents infectieux, venant recouvrir la couche dermique.

Cette peau artificielle est mise en place après excision précoce du tissu brûlé au troisième degré (48 à 72 heures après la brûlure). Le réseau collagène - GAG contient des pores à travers lesquels le néoderme endogène

est en quelque sorte "canalisé". Ainsi est reconstitué un tissu cicatriciel "domestiqué", très proche du derme normal, et au niveau duquel la synthèse de collagène par les fibroblastes ne se fait pas de façon anarchique à la différence du tissu de granulation habituel. Lorsque la couche dermique est revascularisée (3 à 4 semaines), et lorsque l'on dispose de cellules épidermiques, la membrane de silicone est enlevée. On peut alors mettre en place soit une greffe épidermique extrêmement mince, en filet 4 ou 9, (prélevée sur les zones donneuses restantes).

Ce procédé de recouvrement cutané après excision précoce, déjà testé aux USA sur plus de deux cents brûlés, dans cinq centres, s'avère particulièrement efficace, tant pour combattre les pertes exudatives hydriques et calorico-azotées de la phase précoce, que pour prévenir l'infection et pour diminuer l'importance des séquelles hypertrophiques et rétractiles.

Cette matrice, compacte et réticulée, est colonisée par les fibroblastes du blessé qui synthétisent leur propre collagène et toutes les protéines humaines nécessaires à la reconstitution du tissu conjonctif.

Le temps de dégradation du derme artificiel, qui est de vingt-cinq jours, correspond au temps de cicatrisation de la plaie.

Ainsi canalisés, les fibroblastes du brûlé peuvent prendre une bonne orientation, ce qui évite les cicatrices hypertrophiques.

Il reste naturellement à épidermiser dans un second temps.

Ce matériau répond aux besoins d'urgence. Il peut être stérilisé et stocké en grande quantité.

Cette technique, pour intéressante qu'elle soit, présente pourtant plusieurs inconvénients, tant en ce qui concerne le derme, qu'en ce qui concerne le pseudo-épiderme.

#### Pour le derme :

L'association du collagène et des glycosaminoglycanes décrite par YANNAS et BURKE donne des matériaux composites dans lesquels les constituants sont aisément dissociables en raison notamment de la pauvreté du collagène en fonctions basiques ionisables. Ces matériaux composites sont solubles dans les liquides de l'organisme et doivent être réticulés au niveau du collagène pour que soit possible leur utilisation en milieu aqueux. Cependant, la faible cohésion entre le collagène réticulé et les glycosaminoglycanes acides est responsable d'un relargage progressif des GAG à chaque fois qu'une immersion dans une solution aqueuse est nécessaire (hydratation, lavage, neutralisation, etc...). Le relargage, qu'il est difficile

de contrôler, modifie de façon importante la composition finale des dermes.

Pour diminuer sa dégradation, augmenter sa résistance, il est nécessaire de réticuler le coprécipité de collagène-GAG, soit par réticulation chimique utilisant le glutaraldéhyde, produit toxique pour l'organisme, ce qui nécessite, d'une part, d'éliminer le glutaraldéhyde en excès et, d'autre part, de contrôler son élimination du produit fini, soit par réticulation physique par action simultanée de la chaleur et du vide.

Pour le pseudo-épiderme :

Le pseudo-épiderme en résine de silicone n'est pas biodégradable. Il est donc nécessaire de l'enlever chirurgicalement avant d'épidermiser.

Il est, par ailleurs, inutilisable comme support de culture in-vitro et in-vivo.

La dernière technique en date est celle proposé par WIDRA (EP-A-0 089 152 et EP-A-0 138 385), qui propose une peau artificielle réalisée à partir de l'association de composés anioniques dérivés de la kératine et de biopolymères cationiques tels que le chitosan et le collagène.

Ces composés sont applicables en deux étapes pour former, in situ, une membrane hydrogel qui forme une carapace protectrice et, en fin de cicatrisation, durcit et tombe.

Dans la présente invention, les Inventeurs se sont donné pour but de préparer une nouvelle peau artificielle ne présentant pas les défauts des techniques mentionnées ci-avant. Dans ce but, ils se sont fixé certains critères auxquels devront satisfaire le derme et l'épiderme.

Le derme devra, bien entendu :

- faciliter la migration des fibroblastes et des cellules endothéliales ;
- ne présenter que peu ou pas d'antigénicité,
- se dégrader à une vitesse contrôlable,
- permettre de réduire et de prévenir les contractures,
- activer la cicatrisation et prévenir l'infection,
- ne pas provoquer de réaction inflammatoire,
- diminuer la douleur,
- prévenir les cicatrices hypertrophiques.

Il devra, en outre, être bien toléré, être résistant et manipulable sans qu'il soit nécessaire de recourir à une réticulation des constituants.

L'épiderme devra être entièrement biodégradable et susceptible de servir de support de culture cellulaire ; il devra, en outre, être imperméable

aux bactéries, réguler le flux liquidien et présenter des pores de dimensions contrôlées.

La peau artificielle selon l'invention est caractérisée en ce qu'elle est essentiellement constituée d'une couche dermique de type velours  
5 comprenant l'association de collagènes, de chitosan, de chondroïtines 6 et 4 sulfate et éventuellement d'acide hyaluronique. Cette couche dermique est associée à un pseudo-épiderme biodégradable à structure membrannée.

La composition de la couche dermique selon l'invention est tout à fait originale. On sait en effet que l'addition de molécules polyanioniques ou  
10 polycationiques à du collagène conduit à la formation de réseaux ioniques dans lesquels interviennent soit les groupements amine soit les groupements carboxyle de cette protéine. La densité de ces liaisons, dans les matériaux composites obtenus dépend de l'accessibilité de ces groupements, de leur répartition et de leur nombre.

15 Il existe déjà des complexes associant le collagène et le chitosan. C'est ainsi que KOSUGI et KOTTO (US-A-4378017) préparent des composites collagène bovin fibreux - chitosan macrofibrillaire de crabes utilisable en industrie alimentaire. Il s'agit d'un acétyl-chitosan dont le degré d'acétylation est de préférence compris entre 0 et 30 %. Ce matériau fait  
20 intervenir des liaisons ioniques entre ses constituants mais celles-ci apparaissent comme totalement insuffisantes pour garantir sa stabilité et sa solidité. Il est indispensable de recourir à une réticulation chimique pour stabiliser le complexe. Les membranes obtenues par les auteurs sont transparentes, très résistantes à la traction, élastiques et thermostables. Elles sont  
25 de plus insolubles dans l'eau et en milieu acide contrairement au collagène et au chitosan de départ pris séparément. Ces membranes sont cependant hydratables en milieu aqueux sans qu'il y ait relargage des constituants et donnent des structures souples et homogènes dont les propriétés physico-chimiques et biologiques sont compatibles avec leur utilisation éventuelle  
30 comme support de cultures cellulaires.

Dans ce cas, seuls les groupements carboxyles du collagène interviennent dans la formation du réseau.

EP-A-200 574 décrit un biomatériau composé d'atélocollagène, de N-acyl chitosan et éventuellement de chondroïtines-sulfate.

35 Le N-acyl-chitosan décrit dans ce document est obtenu par un procédé en deux étapes. La première de ces étapes consiste en une

6

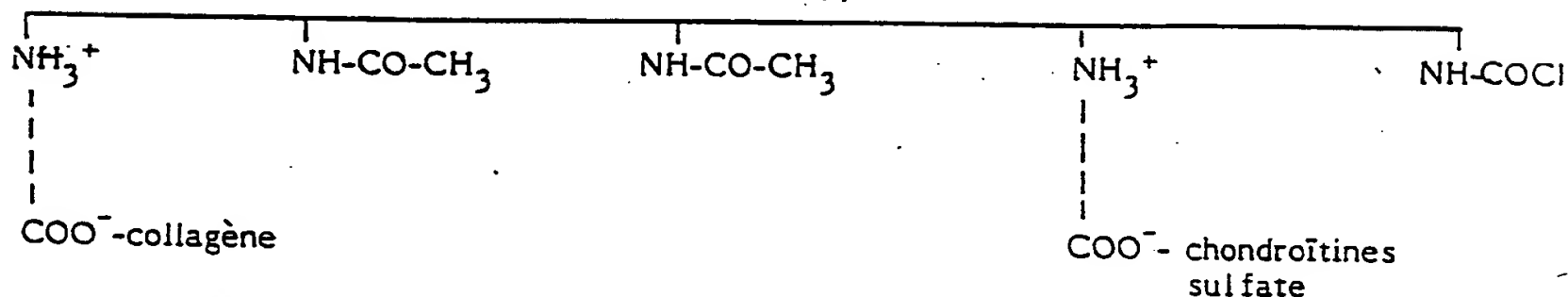
désacétylation à au moins 55 %, et de préférence de 70 à 100 % de la chitine. La deuxième étape consiste en une réacylation du chitosan obtenu, notamment avec de l'acide acétique ou succinique, jusqu'à un degré d'acylation égal à au moins 55 %, mais de préférence compris entre 70 et 100 %.

5 Cet acylchitosan est acylé à un degré d'acylation au moins égal à 55 % mais de préférence compris entre 70 et 100 %.

Or, une acylation à au moins 55 % mais de préférence comprise entre 70 et 100 % signifie que l'acylchitosan présente, au maximum, 45 % de fonctions amines  $\text{NH}_3^+$  libres. Cela limite les possibilités de liaison de ces  
10 fonctions amines avec des groupements  $\text{COO}^-$  du collagène ou des groupements  $\text{SO}_4^{--}$  et  $\text{COO}^-$  des chondroïtines-sulfate, selon le schéma suivant :

Acylchitosan acylé avec de l'acide acétique

15



25

Le nombre de liaisons ioniques entre constituants est donc relativement faible et le réseau ionique est beaucoup moins important.

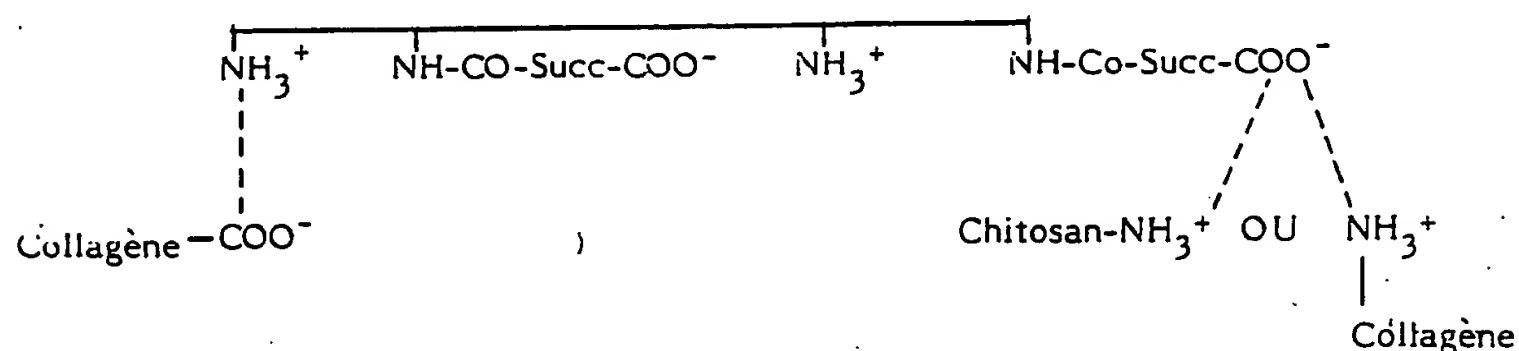
Ainsi, comme le précise EP-A-200 574, il est préférable d'avoir recours à un procédé de réticulation chimique (utilisation d'hexaméthylène diisocyanate ou de glutaraldéhyde), afin d'augmenter, de façon suffisante, la  
30 résistance et la capacité d'absorption en eau et d'empêcher le relargage des glycosaminoglycanes.



Dans le cas où l'acylation s'effectue avec un diacide comme l'acide succinique, cela entraîne une augmentation du nombre de fonctions carboxyliques  $\text{COO}^-$  qui se lient, de façon intramoléculaire, avec les fonctions amines  $\text{NH}_3^+$  du succinylchitosan lui-même et de façon intermoléculaire avec les fonctions amines  $\text{NH}_3^+$  d'une autre chaîne de succinylchitosan ou du collagène.

Il reste donc encore moins de fonctions amines  $\text{NH}_3^+$  libres aptes à se lier avec des groupements acides du collagène et/ou des glycosaminoglycanes. On a :

10



20

Par ailleurs, le biomatériau obtenu selon l'enseignement de ce document doit être réticulé chimiquement afin d'être de qualité correcte.

Les inventeurs ont découvert qu'il était possible d'obtenir des résultats tout à fait exceptionnels en formant des réseaux ioniques dans lesquels interviennent à la fois les groupements carboxyle et les groupements amine du collagène.

La participation simultanée de ces deux groupements ionisables est obtenue en associant le collagène à la fois aux chondroïtines sulfate et au chitosan. La structure obtenue est stabilisée par la formation de liaisons ioniques entre les fonctions acides des chondroïtine sulfate et les fonctions amine du chitosan.

Cette association permet la formation de réseaux ioniques dans lesquels interviennent à la fois les groupements carboxyle et amine du collagène qui se lient respectivement aux fonctions amine du chitosan

présentant un faible taux d'acétylation résiduelle et aux groupements sulfate et carboxyle des chondroïtines 4 et 6-sulfate. En outre, les groupements acide et sulfate des chondroïtines 4 et 6-sulfate peuvent se lier ioniquement aux fonctions amine du chitosan.

5 La cohésion de ces réseaux ioniques est suffisamment forte pour que le derme obtenu soit insoluble en milieu aqueux et pour qu'il n'existe pas de relargage des chondroïtines-sulfates. Cette stabilité qui se traduit en particulier par l'absence de relargage des chondroïtines sulfate permet d'éviter l'utilisation des procédés habituels de réticulation par des liaisons  
10 covalentes (glutaraldéhyde, azide d'acide, diisocyanates...).

Le constituant majoritaire de la couche dermique selon l'invention est le collagène, et de préférence le collagène type I + III, natif ou sans télopeptides à structure hélicoïdale préservée, qu'il s'agisse de collagène de provenance humaine, extrait du placenta, ou de collagène bovin. Ce colla-  
15 gène soluble dans les fluides de l'organisme est entièrement dégradable par les enzymes cellulaires et est parfaitement toléré par l'organisme humain.

Le chitosan (polyglucosamine) est le deuxième composant du derme selon l'invention. Ce chitosan peut être de différentes provenances.

Comme mentionné ci-avant, il est obtenu en une seule étape par  
20 N-désacétylation de chitine (poly-N-acétyl-glucosamine) microfibrillaire de carapaces de crevettes. Ce polyside aminé présente un haut pouvoir d'absorption des protéines riches en acides aminés acides (acides glutamique et aspartique).

La vitesse de dégradation enzymatique du chitosan est fonction à la  
25 fois de sa masse moléculaire et de son degré d'acétylation. Le chitosan entrant dans la composition des dermes, objet de l'invention, présente un poids moléculaire moyen compris entre 150.000 et 1.000.000 et des degrés d'acétylation compris entre 40 et 10 %. Ce taux d'acétylation constitue une différence essentielle avec les matériaux de la technique antérieure décrite  
30 ci-avant ; en effet, l'acétylchitosan selon l'invention présente suffisamment de groupements amines libres pour se lier à la fois au collagène et aux glycosaminoglycanes. Les variations dans les poids moléculaires et les degrés d'acétylation permettent de modifier la cohésion des constituants des dermes et de moduler ainsi leurs propriétés biologiques et physicochimiques  
35 en fonction des buts recherchés.

Par ailleurs, le chitosan présente des propriétés biologiques intéressantes utilisables en clinique. Il est hémostatique et cicatrisant et peut

être utilisé comme support de culture cellulaire. Son rôle de protection de l'organisme animal vis-à-vis des infections bactériennes et fongiques a été également démontré. Il agit par stimulation du système immunitaire et, en particulier, il induit l'activation des macrophages. Cette propriété a été  
5 utilisée chez l'animal dans le traitement des tumeurs cancéreuses.

Le chitosan et le composite collagène-chitosan présentent donc des propriétés physicochimiques et biologiques compatibles avec leur utilisation comme constituant des dermes artificiels.

Les 3ème et 4ème constituants, les chondroïtines sulfate et l'acide  
10 hyaluronique sont des glycosaminoglycanes.

Les glycosaminoglycanes font partie intégrante du tissu conjonctif.

Les glycosaminoglycanes sont caractérisés par des unités disaccharidiques linéaires, généralement constitués d'un acide uronique (acide glucuronique ou acide iduronique et d'une hexosamine (glucosamine ou galactosamine)  
15 mine) très souvent N-acétylée et estérifiée par l'acide sulfurique.

Les principaux glycosaminoglycanes sont :

- l'acide hyaluronique,
- la chondroïtine 4-sulfate ou chondroïtine sulfate A (CSA),
- la chondroïtine 6-sulfate ou chondroïtine sulfate C (CSC),  
20 - le dermatane sulfate ou chondroïtine sulfate B (CSB),
- l'héparane sulfate (HS),
- le kératane sulfate (KS) qui diffère des autres glycosaminoglycanes par la présence de galactose à la place de l'acide uronique.

Les chondroïtines 4- et 6-sulfate sont les glycosaminoglycanes les  
25 plus répandus. Ce sont des polymères dont l'unité fondamentale est la suivante : glucuronyl (  $\beta$  1.3)N-acétylgalactosamine sulfate (  $\beta$  1.4). Les chondroïtines 4- et 6-sulfate ne diffèrent que par la position du groupement sulfate. La molécule de galactosamine est estérifiée soit en position 4 (chondroïtine 4-sulfate ou chondroïtine sulfate A), soit en position 6  
30 (chondroïtine 6-sulfate ou chondroïtine sulfate C).

On a démontré que les glycosaminoglycanes sulfatés, à l'exception du kératane sulfate, pouvaient former, in vitro et à des pH physiologiques, des liaisons ioniques avec le collagène. Ces liaisons sont d'autant plus fortes que le contenu en acide iduronique du glycosaminoglycane est élevé.  
35 La co-précipitation du collagène et des chondroïtine 6-sulfate à pH acide ralentit la dégradation du collagène en masquant le site d'action de la collagénase et diminue son immunogénicité en masquant

les sites antigéniques. Les chondroïtines sulfate rendent le collagène hémocompatible en diminuant l'agrégation des plaquettes et la libération de sérotonine.

5 Les chondroïtines 6 et 4-sulfate utilisées dans la présente invention, en même temps que le chitosan, comme précisé ci-avant, sont avantageusement associés à l'acide hyaluronique précédemment décrit qui exerce un rôle de régulation de la croissance et de la migration cellulaire. L'acide hyaluronique est le seul glycosaminoglycane non sulfaté.

10 Il s'agit d'un polymère d'unité : glucuronyl (  $\beta$  1,3) N- acétylglucosamine (  $\beta$  1,4). L'acide hyaluronique a un poids moléculaire variant entre 100.000 et plusieurs millions selon le tissu considéré.

15 Il faut souligner que l'introduction, dans des formulations à base de collagène et de chondroïtines sulfate, de chitosan, outre les améliorations qu'elle communique au derme sur le plan biologique, apporte une solution au problème du relargage et de la réticulation. En effet, ce polysaccharide présente de très nombreuses fonctions aminées ionisables susceptibles de se lier par liaison ionique à chacun des constituants du derme puisqu'ils présentent tous des fonctions acides (carboxylique et sulfonique) en proportion importante.

20 Dans ce cas, et contrairement à ce qui se passe après réticulation chimique du collagène seul dans les mélanges collagène-GAG connus, tous les constituants sont liés entre eux par un nombre de liaisons ioniques suffisamment important pour que le relargage soit négligeable. La composition chimique des dermes obtenus reste invariable au cours des opérations nécessitant une immersion dans des solutions aqueuses. La présence de  
25 chitosan dans les équivalents dermiques selon l'invention permet donc d'obtenir un matériau de composition très définie et qui présente la particularité d'être insoluble dans les fluides de l'organisme sans qu'il soit nécessaire de recourir à une réticulation chimique covalente.

30 Par ailleurs, la couche pseudo-épidermique recouvrant les dermes artificiels doit avoir des propriétés physicochimiques proches des épidermes naturels. Cette couche doit agir comme régulateur du flux hydrique et comme barrière vis-à-vis des agents infectieux. Elle doit, en outre, par ses propriétés mécaniques, conférer à l'ensemble derme-épiderme une solidité et  
35 une élasticité compatibles avec les conditions de manipulation intervenant au moment de la greffe (hydratation, lavage, découpage, suture...).

Selon l'invention, cette couche est constituée par un film de chitosan

seul ou associé à des chondroïtines-sulfate et/ou du collagène. Elle peut être constituée également de ces éléments seuls ou associés à des protéines de structure modifiées telles que les carboxyméthyl ou aminoéthyl-kératéines substituées.

5           La couche dermique comporte entre 10 et 20 % de chitosan, entre 4 et 10 % de chondroïtines 4- et 6- sulfate, ces pourcentages étant calculés par rapport au poids du collagène.

          L'utilisation d'autres polyélectrolytes en association avec une ou plusieurs de ces macromolécules ionisables est possible. En particulier les polyo-  
10       sides végétaux (acide polygalacturonique...) ou les poly-aminoacides peuvent être employés pour la constitution de réseaux ioniques présentant les propriétés physicochimiques désirées.

          Ces films composites sont rendus plus ou moins lipophiles par greffage chimique de substituants non toxiques tels que les acides gras ou  
15       d'autres substances hydrophobes, ou par application superficielle d'un succédané de sébum contenant des acides gras libres ou estérifiés ou toute autre substance contenue dans le sébum.

          Les pseudo-épidermes selon l'invention présentant l'avantage, par rapport aux substances chimiques généralement utilisées pour l'imperméa-  
20       bilisation des dermes, présentent une lipophilie modulable en fonction de la nature des substances grasses utilisées ou de la nature des substituants lipophiles introduits.

          La présente invention sera mieux comprise et ses avantages ressortiront bien des exemples suivants qui l'illustrent sans nullement la  
25       limiter.

          Dans tous les exemples, le chitosan est obtenu par N-désacétylation de chitine (poly-N-acétylglucosamine) microfibrillaire provenant de carapaces de crevettes. Il s'agit d'un chitosan dont le degré d'acétylation se situe entre environ 10 et environ 40 %.

30       **EXEMPLE 1 : PREPARATION DU DERME COMPOSANT L'ESSENTIEL DE LA PEAU ARTIFICIELLE**

Préparation de la solution de collagène :

          Les collagènes préférés appartiennent au type III + I, au type III, au type I, au type IV et au type V et se trouvent sous forme natifs ou sans  
35       téloptides, à structure hélicoïdale préservée, en solution ou sous forme fibreuse.

Ils sont préparés, de façon classique, à partir de derme de veau (collagènes commercialisés en France par la S.A. de Développement et d'Utilisation du Cuir). Ils peuvent également être obtenus à partir de placenta humain (collagènes commercialisés en France par l'Institut Mé-  
5 rieux).

La solution est réalisée en mélangeant à l'aide d'un agitateur 1 % de collagène (poids/volume) dans de l'acide acétique 0,05 M à température ambiante et pH 3,5.

Si l'on désire un derme artificiel moins rigide, la concentration de  
10 la solution peut être abaissée jusqu'à 0,3 % (poids/volume).

#### Addition du chitosan :

On prépare le chitosan par N-désacétylation de chitine (poly-N--acétyl-glucosamine) microfibrillaire provenant de carapaces de crevettes.

- Le chitosan ainsi obtenu et hautement purifié est ajouté à la  
15 solution précédente à raison de 15 % (poids/poids) par rapport au collagène.

Le chitosan joue, en plus de ses propriétés naturelles, le rôle d'agent réticulant ionique. Son poids moléculaire peut varier de 150 000 à 1 000 000.

Le degré d'acétylation, que l'on peut faire varier de 40 à 10 %,  
20 détermine le degré de réticulation, et permet donc de jouer sur la vitesse de dégradation du derme artificiel.

#### Addition des chondroïtines sulfates

- Un mélange de chondroïtines 4 et 6 sulfate purifié à 99 % à partir de cloisons nasales d'ovins est ensuite ajouté à la solution  
25 collagène-chitosan à raison de 6 % (poids-poids) par rapport à la quantité de collagène initiale. La présence des deux premiers composés facilite la solubilisation des GAG qui se dissolvent rapidement sous agitation à température ambiante.

- On peut, à ce stade de la préparation, ajouter à la solution  
30 précédente de l'acide hyaluronique, à raison de 1 % (poids-poids) par rapport au collagène. Ce produit permet une amélioration de l'adhésion cellulaire et permet également d'améliorer encore la croissance cellulaire, déjà favorisée par les glucosaminoglycanes.

#### Neutralisation :

35 Une fois que l'on a obtenu un mélange bien homogène des différents constituants, on effectue la neutralisation du derme.

Le pH est alors ramené à 6,5-7 par une solution de NaOH N ou

par un tampon Tris-HCl (pH 10,5).

Une autre méthode consiste à effectuer la neutralisation après lyophilisation de la solution. Il faut alors rincer le derme dans deux bains successifs d'eau stérile, de sérum physiologique ou de tampon Tris-HCl.

5            Lyophilisation :

La solution homogène obtenue est lyophilisée dans des lyophilisateurs industriels.

L'épaisseur du derme dépend de la quantité de solution versée dans les moules et peut être adaptée aux besoins des utilisateurs. En  
10 moyenne, cette épaisseur varie de 1 à 8 mm selon l'utilisation.

On peut aussi réaliser des films à partir de la solution homogène précédemment préparée.

Cette solution est versée dans des moules et maintenue dans une étuve à 35°C pendant 48 heures, ce qui permet d'obtenir un derme artificiel  
15 lisse et transparent de 0,1 à 0,8 mm d'épaisseur.

Stérilisation :

Deux principaux procédés de stérilisation sont retenus :

- l'alcool à 70°
- les rayons gamma.

20            Alcool à 70° :

Les dermes artificiels sont conditionnés dans des poches plastiques remplies d'alcool à 70° selon des techniques classiques évitant au maximum la contamination bactérienne ; tous les tests bactériologiques réalisés entre sept jours et six mois après le conditionnement dans l'alcool se sont révélés  
25 négatifs.

Rayonnement gamma :

Les dermes artificiels peuvent également être stérilisés par des irradiations ionisantes. Les rayons gamma proviennent d'une source de cobalt 60.

30            La dose de rayonnement peut s'étendre de 1 à 3 Megarad sans détérioration des propriétés du derme.

Le derme artificiel ainsi obtenu a été soumis à différents contrôles qui vont être exposés ci-après. Certains de ces contrôles sont représentés au dessin schématique annexé, dans lequel :

35            Figure 1 est une courbe représentant la vitesse de dégradation enzymatique du derme selon l'invention par la collagénase ;

Figure 2 représente les spectres de diffraction aux rayons X du

collagène seul ;

Figure 3 représente le spectre de diffraction aux rayons X du derme artificiel selon l'invention, et d'un collagène dénaturé ;

5 Figure 4 représente les spectres de diffraction aux rayons X du derme artificiel selon l'invention une fois stérilisé aux rayons X et à l'alcool à 70° ;

Figure 5 représente les résultats d'électrophorèse sur un derme réalisé à partir de collagène bovin.

Microscopie électronique :

10 La microscopie électronique à balayage permet d'observer la structure poreuse des dermes lyophilisés, la structure lamellaire des dermes filmogènes, et de contrôler la taille des pores déterminée par le pourcentage de matière sèche du derme.

15 La microscopie électronique à transmission permet de visualiser la structure microfibrillaire du derme selon l'invention.

Propriétés mécaniques du derme artificiel :

20 Les tests de résistance des matériaux à la traction sont réalisés sur un appareil de mesure ADAMEL LHOMERGY DY 21b. Les échantillons sont préparés sous forme d'haltères de 0,5 cm de large sur 3 cm de long et 0,33 mm d'épaisseur. Chaque extrémité de l'éprouvette est pincée fortement entre les mors de l'appareil.

Les mesures d'étirement sont réalisées à une vitesse de 5 ou 10mm/minute suivant les échantillons. Trois essais sont réalisés pour chaque mesure. Les résultats sont donnés dans le tableau I ci-après.



TABLEAU I

Echantillons	Sterilisation	Force da N	Allongement (mm)	Module de Young Kg/cm <sup>2</sup>
Collagène H	Non stérile	0,01	Très faible	/
Collagène + GAG	Non stérile	0,02	Très faible	/
Collagène H + Ch + GAG	Non stérile	0,9	14,33	0,16
Collagène H + Ch + GAG	Rayons Gamma	0,1	17,3	0,14
Collagène H + Ch + GAG	Alcool 70°	0,09	15,7	0,145
Collagène H + Ch + GAG + pseudo-épiderme bio- dégradable	Alcool 70°	0,23	20,1	0,29
Collagène B + Ch + GAG	Non stérile	0,06	12,27	0,13
Collagène B + Ch + GAG	Rayons Gamma	0,07	13,00	0,13
Collagène B + Ch + GAG	Alcool 70°	0,06	13,3	0,12

Collagène H : Collagène humain  
Collagène B : Collagène bovin  
Ch : chitosan  
GAG : glycosaminoglycanes.

La comparaison des échantillons constitués de collagène seul, de collagène et de glycosaminoglycanes et de collagène, chitosan et glycosaminoglycanes montre que la présence du chitosan augmente de façon importante la résistance mécanique du derme artificiel.

- 5 Comme on peut le voir, l'incorporation de 15 % en poids de chitosan multiplie par quatre la force nécessaire pour obtenir la rupture du composé. Ceci montre clairement la forte cohésion des trois molécules entre elles.

10 Etude de la vitesse de dégradation enzymatique du derme artificiel par la collagénase :

Les mesures conductimétriques sont réalisées selon la technique suivante :

4 ml d'une suspension d'échantillon dans du tampon  $\text{TrisCaCl}_2$  1mM pH 8 sont placés dans une cellule thermostatée à 30°C.

- 15 La conductance est enregistrée grâce à un pont de mesure à transformateur WAYNE-KERR B 641 dès que la stabilité thermique est atteinte (au bout de dix minutes environ). L'enzyme (collagénase de *Clostridium histolyticum* EC 34 243 - Sigma Numéro C-0773) est alors introduite dans la cellule (concentration finale en enzyme : 3,24 U/ml) et la  
20 variation de conductance est enregistrée.

- La réaction enzymatique est standardisée par addition d'un petit volume (50  $\mu\text{l}$ ) d'HCl 10 M. Les variations de conductance dues à l'hydrolyse sont alors converties en équivalent de protons libérés dans le milieu par la réaction enzymatique. Les vitesses d'hydrolyse s'expriment en équivalent de  
25 protons libérés par litre et par heure (H/l/h).

TABLEAU II

Echantillons	Stérilisation	% Activité enzymatique	Vitesse de dégradation en $\mu\text{m (H}^+/\text{l/h)}$
Collagène humain (1)	Non stérilisé	100	1050
Collagène H + Ch + GAG (2)	Non stérilisé	44,8	462
Collagène H + Ch + GAG (3)	Rayons Gamma	32,2	402
Collagène H + Ch + GAG (4)	Alcool 70°	38,9	340
GAG (5)	non stérile	0	0
Chitosan (6)	non stérile	0	0

L'addition de chitosan et de GAG diminue de moitié la dégradation du collagène par la collagénase. Il n'y a pas de différence significative entre le derme artificiel non stérile et celui stérilisé aux rayons gamma ou à l'alcool à 70°.

5

#### Etude de la diffraction aux rayons X

Cette étude permet de vérifier l'intégrité de la molécule de collagène après fabrication du derme artificiel et après stérilisation.

10

Les échantillons sont préparés à l'emporte-pièce et aplatis de façon à obtenir des pastilles de 1 cm de diamètre et 1 mm d'épaisseur. Ces pastilles sont placées dans un appareil de diffraction des rayons X relié à un système informatique.

Les résultats sont donnés aux figures 2 à 4.

On peut observer les pics  $P_1$  et  $P_2$  caractéristiques du collagène sur la courbe A représentée à la figure 2.

15

Le pic  $P_1$  permet de déterminer la distance entre les molécules de collagène. Le Pic  $P_2$  traduit la distance entre deux acides aminés. C'est sa présence qui permet de déterminer le degré d'intégrité de la molécule de collagène.

20

Le pic 3 permet de connaître le pas des hélices de la molécule de collagène. C'est un pic particulièrement difficile à visualiser.

Le pic 4 n'est pas exploitable car il est donné par tous les éléments amorphes contenus dans le derme artificiel.

25

Sur la figure 3, la courbe B est celle du derme selon l'invention et la courbe C celle du collagène dénaturé. On peut observer que le procédé de fabrication n'altère pas la molécule de collagène, puisque le pic  $P_2$  est toujours présent.

Le pic 3 n'est plus visible. Il doit être masqué par les résidus du chitosan et de glycosaminoglycanes.

30

Le pic  $P_1$  conserve une amplitude identique dans le derme artificiel et dans du collagène seul.

35

Les spectres de diffraction des rayons X observés sur la figure 4 montrent que les procédés de stérilisation n'altèrent pas non plus la molécule de collagène. Sur la figure 4, la courbe D est celle du derme stérilisé aux rayons X et la courbe E, celle du derme stérilisé à l'alcool à 70°.

#### Electrophorèses

Une première série d'électrophorèses sur gel de polyacrylamide en

présence de SDS a été réalisée. Elle permet de séparer les chaînes en fonction de leur poids moléculaire.

Les résultats d'électrophorèse du derme artificiel obtenu à partir de collagène bovin sont rassemblés à la figure 5. Les pics  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ , Bêta<sub>11</sub>, Bêta<sub>12</sub>, caractéristiques d'un collagène bovin acido-soluble, sont présents et sont tout à fait comparables à ceux obtenus avec un collagène bovin seul. L'absence de pic correspondant à des molécules de faible poids moléculaire confirme que la fabrication n'altère donc pas les molécules de collagène, ce qu'avait déjà laissé supposer l'étude de la diffraction aux rayons X.

#### Etude de la cytotoxicité

Une étude de cytotoxicité directe et indirecte du derme artificiel selon l'invention sur des cultures de fibroblastes et de kératinocytes a été réalisée. Les résultats sont rapportés dans le tableau III.

Dans chaque cas, aucun signe de cytotoxicité n'a été observé. La morphologie des cellules reste identique à celle des témoins. La vitesse de croissance est légèrement augmentée.

20

TABLEAU III

Echantillon	Cytotoxicité		Vitesse de croissance cellulaire
	Directe	Indirecte	
témoin sans derme artificiel	/	/	Normale
Collagène H + Ch + GAG stérilisé à l'alcool	Négative	Négative	Normale
Collagène H + Ch + GAG stérilisé aux Rayons Gamma	Négative	Négative	Normale
Collagène B + Ch + GAG stérilisé à l'alcool	Négative	Négative	Normale
Collagène B + Ch + GAG stérilisé aux rayons Gamma	Négative	Négative	Normale

### Etude de la biocompatibilité du derme artificiel

Les dermes artificiels stériles sont rincés dans deux bains de sérum physiologique et découpés aux dimensions désirées à l'aide de matériel chirurgical stérile.

5 L'animal choisi (rat blanc de laboratoire) est anesthésié par exposition à un mélange d'oxygène et d'halothane.

Il est rasé sur le dos et lavé avec une solution antiseptique. Deux excisions de 2 cm<sup>2</sup> sont pratiquées jusqu'au muscle sur le dos de l'animal avec un minimum de saignement. L'une reçoit du derme artificiel, l'autre sert de témoin.

10 Un bourdonnet est suturé sur chaque plaie et le tout est recouvert d'un pansement.

Plusieurs séries de trois rats sont réalisées sur ce modèle.

Les animaux sont sacrifiés à j 2, j 7, j 15, j 21 et j 30.

15 L'aspect du derme artificiel est alors noté, une biopsie est prélevée jusqu'au muscle dans les deux plaies pour l'étude en microscopie électronique à balayage et à transmission ainsi que pour l'étude histologique.

Le sang de l'animal est prélevé par ponction intracardiaque en vue des recherches d'anticorps.

20 Les résultats obtenus à j 2 montrent une réaction inflammatoire normale suivie à j 7 d'une colonisation cellulaire du derme artificiel. A j 15, aucune surinfection n'a été observée.

Les premiers résultats obtenus à j 21 montrent que le derme artificiel est toujours présent et est bien colonisé par les cellules.

25 Le derme artificiel ainsi obtenu peut être épidermisé en un second temps à l'aide d'un pseudo-épiderme biodégradable ; selon l'invention on utilise de préférence un pseudo-épiderme à base de chitosan seul ou associé à des chondroïtines sulfate et/ou à du collagène, ainsi qu'éventuellement à des protéines de structure modifiée ou à d'autres polyélectrolytes.

30 Une certaine lipophilie est avantageusement conférée au pseudo-épiderme par greffage chimique ou par application superficielle d'un succédané de sébum.

Le matériau composite derme + pseudo-épiderme ainsi réalisé présente tous les avantages énumérés ci-avant. Il est de plus entièrement biodégradable et pourra servir de support pour la culture des propres

kératinocytes du sujet et être implanté dans les jours suivants les brûlures.

Relais précieux dans les techniques d'excision précoce du tissu brûlé au 3ème degré, il permet un recouvrement immédiat, évite les pertes exudatives et calorico-azotées, présente une barrière aux infections, limite les cicatrices hypertrophiques et les séquelles rétractiques invalidantes. Il est de plus un excellent support permettant d'envisager la culture de cellules épidermiques sur le malade lui-même.

Ainsi la reconstitution de la couche épidermique se fera en même temps que celle de la couche dermique, solution attendue par tous les Centres de Brûlés.

#### **EXEMPLE 2 : REALISATION D'UNE MATRICE EXTRACELLULAIRE FAVORISANT LA CROISSANCE DES CELLULES NERVEUSES**

On réalise une solution à 1 % (P/V) de collagène dans de l'acide acétique 0,05 N grâce à un agitateur vertical. Quand la solution est bien homogène, on dissout 0,15 % de chitosan, puis 0,06 % de glycosaminoglycanes.

La solution obtenue, qui possède les mêmes concentrations que le derme artificiel est coulée dans des tubes de silicones biocompatibles de diamètre variant entre 2 et 6 mm. Ces tubes sont lyophilisés puis stérilisés à l'alcool à 70° ou aux rayons gammas.

Ces tubes sont, dans un premier temps, prévus pour être implantés chez le lapin afin de tester les possibilités de régénération du nerf sciatique.

#### **EXEMPLE 3 : REALISATION D'UNE MATRICE EXTRACELLULAIRE POUR LA REGENERATION DE TISSU OSSEUX**

On réalise une solution à 1 % (P/V) de chitosan dans de l'acide acétique 0,5 N suivant la méthode décrite dans l'exemple 1. On ajoute à cette solution 16 % de collagène par rapport au poids initial de chitosan, puis 84 % de glycosaminoglycanes (toujours par rapport au chitosan).

Il se produit un précipité qui est accentué en ramenant le pH à un seuil proche de la neutralité. Ce précipité fibreux est récupéré, pressé et placé dans des tubes de silicones biocompatibles de 0,9 à 1,5 cm de diamètre. Au centre de ces tubes, une lumière de 1 à 2 mm de diamètre est réalisée. Elle peut être laissée ainsi ou emplie d'une solution de collagène (1 %), chitosan (0,15 %), glycosaminoglycanes (0,06 %), soit les concentrations du derme artificiel.

Les tubes de silicone sont ensuite séchés à l'étuve ou lyophilisés.



Leur aspect est alors dur et fibreux. Ils sont stérilisés aux rayons  $\gamma$  ou à l'alcool à 70°. Ces tubes sont, dans un premier temps, prévus pour être implantés chez le lapin ou le chien pour étudier les possibilités de régénération et de réparation d'os ou de fragments d'os lésés.

5 Du calcium peut être rajouté au mélange initial de façon à se rapprocher plus encore de la structure de l'os normal.

**EXEMPLE 4 : UTILISATION DES MELANGES PRECEDEMMENT  
DECRTS POUR REALISER DES ENVELOPPES BIOCOMPATIBLES DE  
PROTHESES DEJA EXISTANTES**

10 Les prothèses de silicone (prothèse mammaire, prothèse de menton...) ou de Dacron (ligaments) ne sont pas recolonisées par les cellules ou le sont très lentement. Ceci occasionne des risques de glissement plus ou moins importants des prothèses de silicone, notamment des prothèses mammaires.

15 Un matériau biocompatible enveloppant ces prothèses permettra la régénération d'un tissu qui empêcherait ces glissements et constituerait une excellente interface prothèse-tissus environnants.

**Réalisation d'enveloppes biocompatibles**

20 Une solution de collagène, chitosan et glycosaminoglycanes est réalisée dans les conditions de l'exemple 3. Les proportions de chaque constituant varient suivant la forme et la taille de la prothèse à recouvrir. En moyenne, les proportions optimales sont : collagène 0,5 % (P/V), chitosan 0,08 % et glycosaminoglycanes 0,03 %.

25 La solution obtenue est dégazée à la centrifugeuse (trois quarts d'heure à 3000 tours/minute) puis le liquide homogène obtenu est étalé sur toute la surface de la prothèse et mis à l'étuve à 30°C jusqu'au séchage complet.

La prothèse et son enveloppe sont alors stérilisées à l'alcool ou aux rayons gammas.

30 **EXEMPLE 5 : UTILISATION DES DIFFERENTES MATRICES  
EXTRACELLULAIRES DECRITES DANS LES EXEMPLES 1 A 3 COMME  
SUPPORT DE CULTURE CELLULAIRE POUR DES ESSAIS PHARMACO-  
TOXICOLOGIQUES**

La solution décrite dans les exemples 1 à 3 est coulée dans des flacons, des boîtes de Pétri ou des plaques multipuits et séchée à l'étuve à 35 30°C. Le film formé adhère à la boîte et représente un excellent support de cultures cellulaires.

D'autre part, les matrices lyophilisées peuvent être utilisées in

vitro permettant de réaliser des cultures tridimensionnelles de cellules (fibroblastes, keratinocytes, chondrocytes...).

Ces modèles de culture peuvent servir à l'étude pharmacotoxicologique de différentes molécules chimiques ou médicamenteuses.

5 Dans les industries pharmaceutiques, ces modèles sont de plus en plus utilisés car ils permettent de faire un screening de familles moléculaires et de réduire considérablement l'utilisation d'animaux de laboratoire.

- REVENDICATIONS -

1- Biomatériaux, caractérisés en ce qu'ils comprennent au moins un composé constitué par une association de collagène, de chitosan acétylé à un degré d'acétylation compris entre environ 10 et environ 40 % et de glycosaminoglycanes.

2- Biomatériaux selon la revendication 1, caractérisés en ce que le chitosan provient de la N-désacétylation de chitine (poly-N-acétyl-glucosamine) microfibrillaire de carapaces de crevettes.

3- Biomatériaux selon les revendications 1 et 2, caractérisés en ce que le chitosan présente un poids moléculaire compris entre 150 000 et 1 000 000.

4- Biomatériaux selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisés en ce que le collagène est choisi parmi les collagènes type III + I, d'origine humaine ou d'origine bovine, natif ou sans télopeptides, à structure hélicoïdale préservée en solution ou sous forme fibreuse.

5- Application des biomatériaux selon l'une des revendications 1 à 4 en orthopédie et chirurgie plastique.

6- Application des biomatériaux selon l'une des revendications 1 à 4 à la réalisation de matrices extracellulaires pour la régénération des cellules nerveuses.

7- Application des biomatériaux selon l'une des revendications 1 à 4 à la réalisation de matrices extracellulaires pour la régénération des os.

8- Application des biomatériaux selon l'une des revendications 1 à 4 comme support de cultures cellulaires.

9- Application des biomatériaux selon l'une des revendications 1 à 4 à la réalisation d'enveloppes biocompatibles.

10- Peau artificielle à base de collagène, de glycosaminoglycane et de chitosan, caractérisée en ce qu'elle est essentiellement constituée d'une couche dermique de type velours comprenant un biomatériau selon l'une quelconque des revendications 1 à 4.

11- Peau artificielle selon la revendication 10, caractérisée en ce que les glycosaminoglycanes sont choisies parmi les chondroïtines 4- et 6-sulfate et l'acide hyaluronique.

12- Peau artificielle selon les revendications 10 et 11, caractérisée en ce que la couche dermique comporte entre 10 et 20 % de chitosan, entre 4 et 10 % de chondroïtines 4- et 6-sulfate, ces pourcentages étant calculés par rapport au poids du collagène.

13- Peau artificielle selon l'une quelconque des revendications 10 à 12, caractérisée en ce que la couche dermique comporte en outre une partie en poids d'acide hyaluronique, par rapport au collagène.

5 14- Peau artificielle selon l'une quelconque des revendications 10 à 13, caractérisée en ce que la couche dermique est associée à un pseudo-épiderme biodégradable à structure membrannée.

15- Peau artificielle selon la revendication 14, caractérisée en ce que le pseudo-épiderme est un film de chitosan.

10 16- Peau artificielle selon la revendication 14 et la revendication 15, caractérisée en ce que le film de chitosan est associé à des chondroïtines sulfate et/ou à du collagène.

17- Peau artificielle selon les revendications 15 et 16, caractérisée en ce que les composants du pseudo-épiderme sont associés à des protéines.

15 18- Peau artificielle selon l'une quelconque des revendications 14 à 17, caractérisée en ce qu'une certaine lipophilie est communiquée au pseudo-épiderme par greffage chimique de substituants non toxiques tels que les acides gras ou d'autres substances hydrophobes, ou par application superficielle d'un succédané de sébum contenant des acides gras libres ou estérifiés ou toute autre substance contenue dans le sébum.

20 19- Procédé d'obtention d'une couche dermique artificielle selon l'une quelconque des revendications 10 à 13, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- dissolution de collagène acido-soluble ou fibreux de provenance humaine ou bovine dans de l'acide acétique ;

25 - addition à la solution de collagène de chitosan de crevettes purifié ;

- addition à la solution collagène-chitosan d'un mélange de chondroïtines 4- et 6-sulfate, suivie éventuellement d'addition d'acide hyaluronique ;

30 - neutralisation à pH 6,5 - 7,

- lyophilisation ou transformation en film,

- stérilisation.

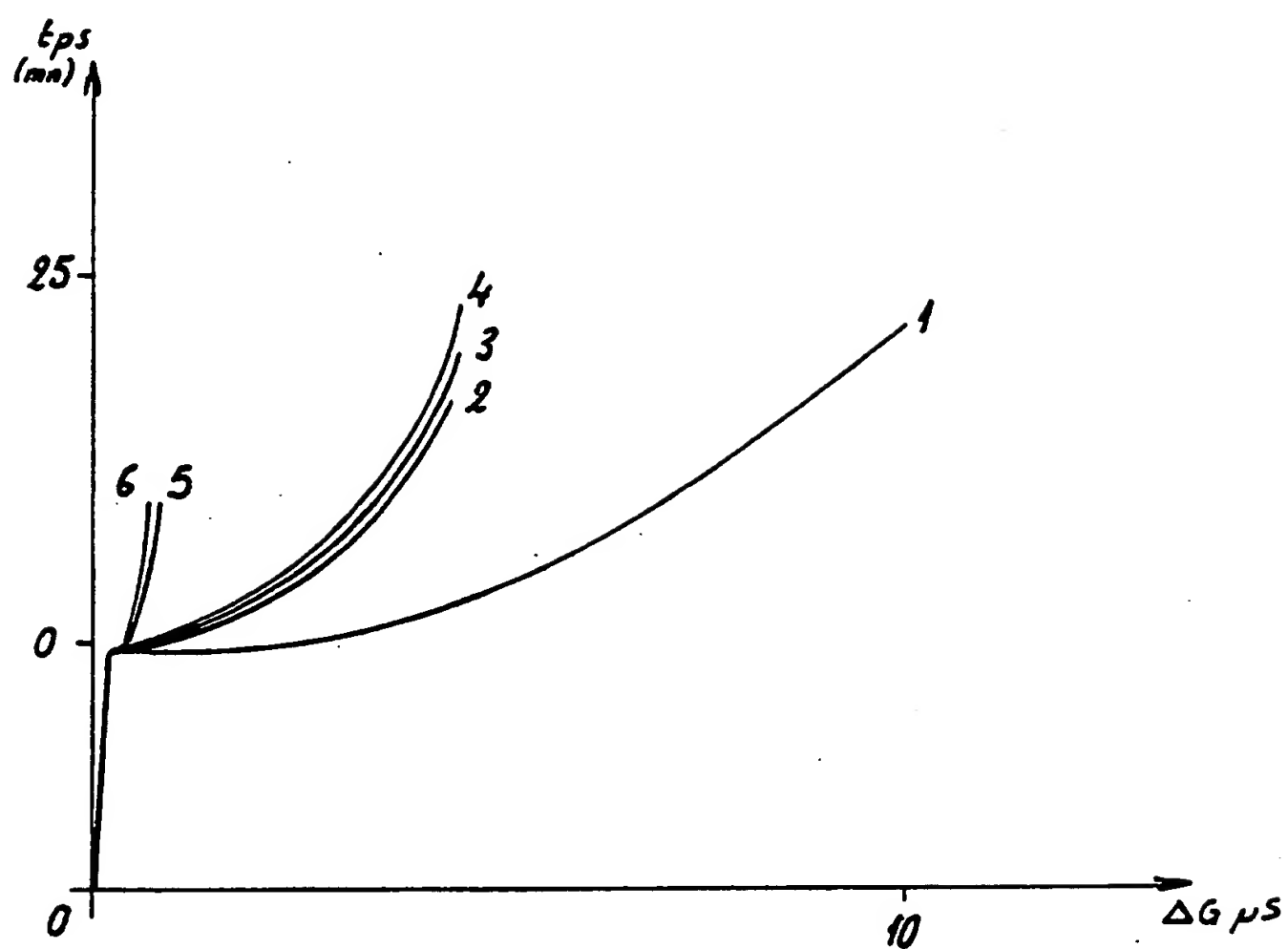
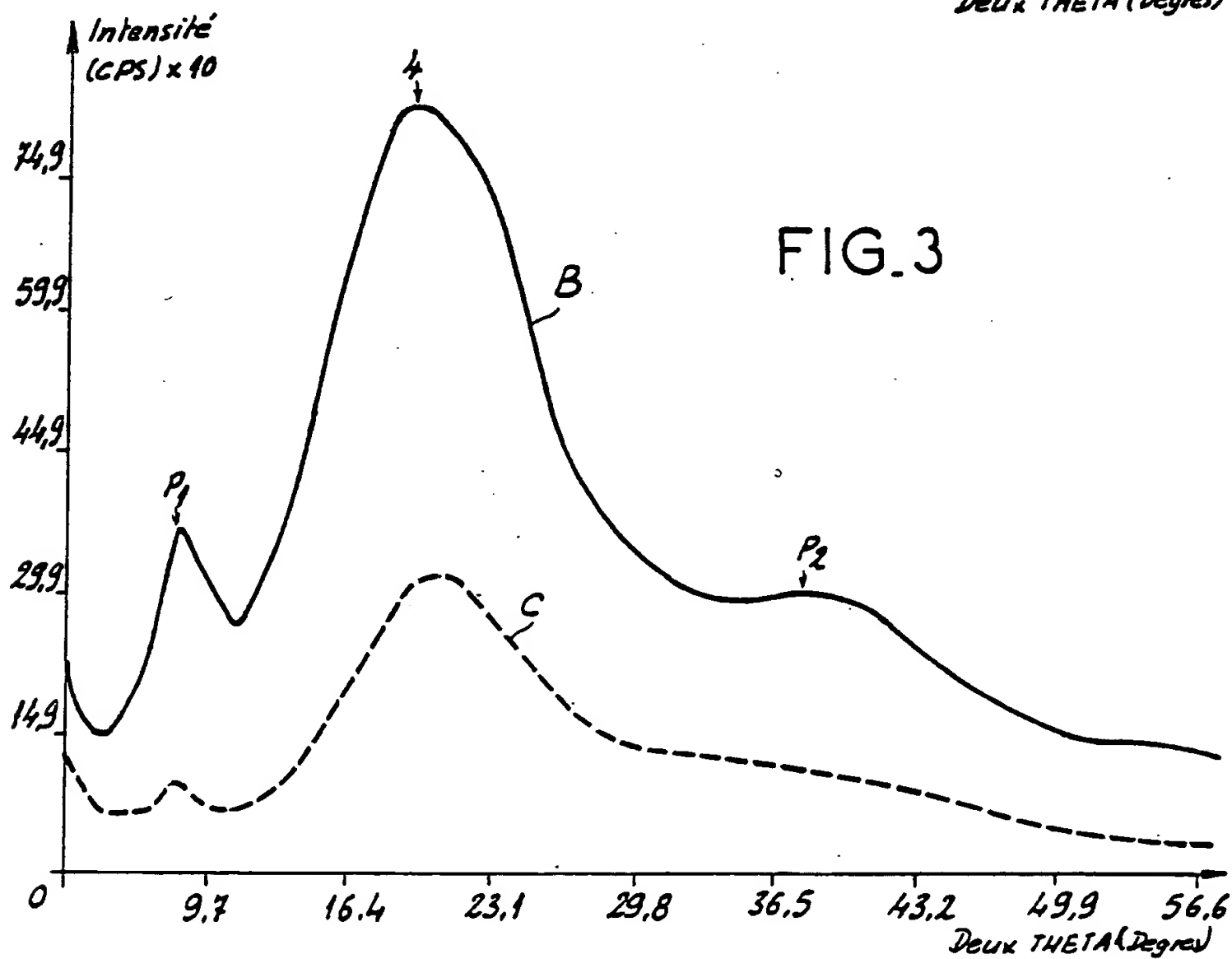
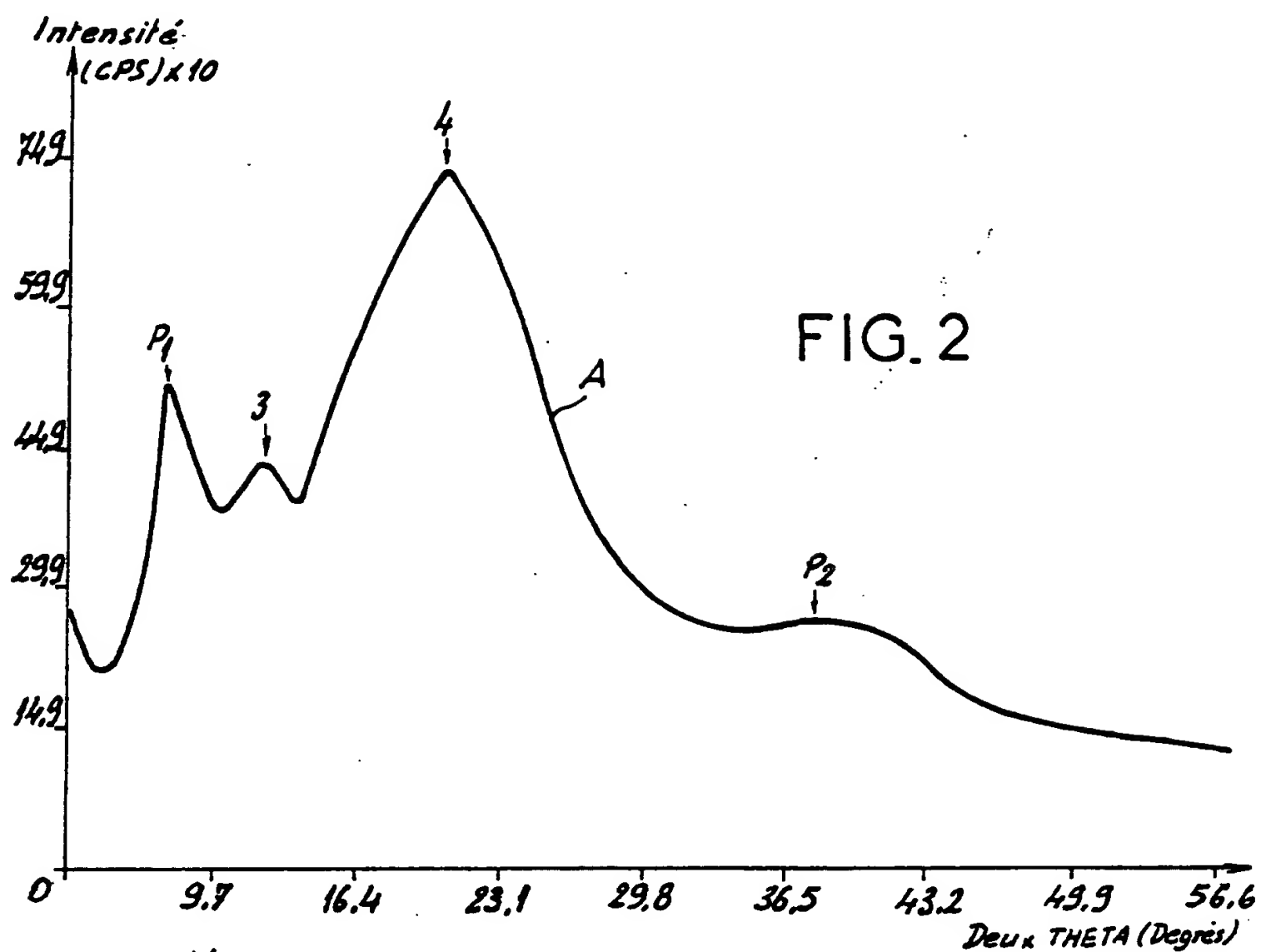
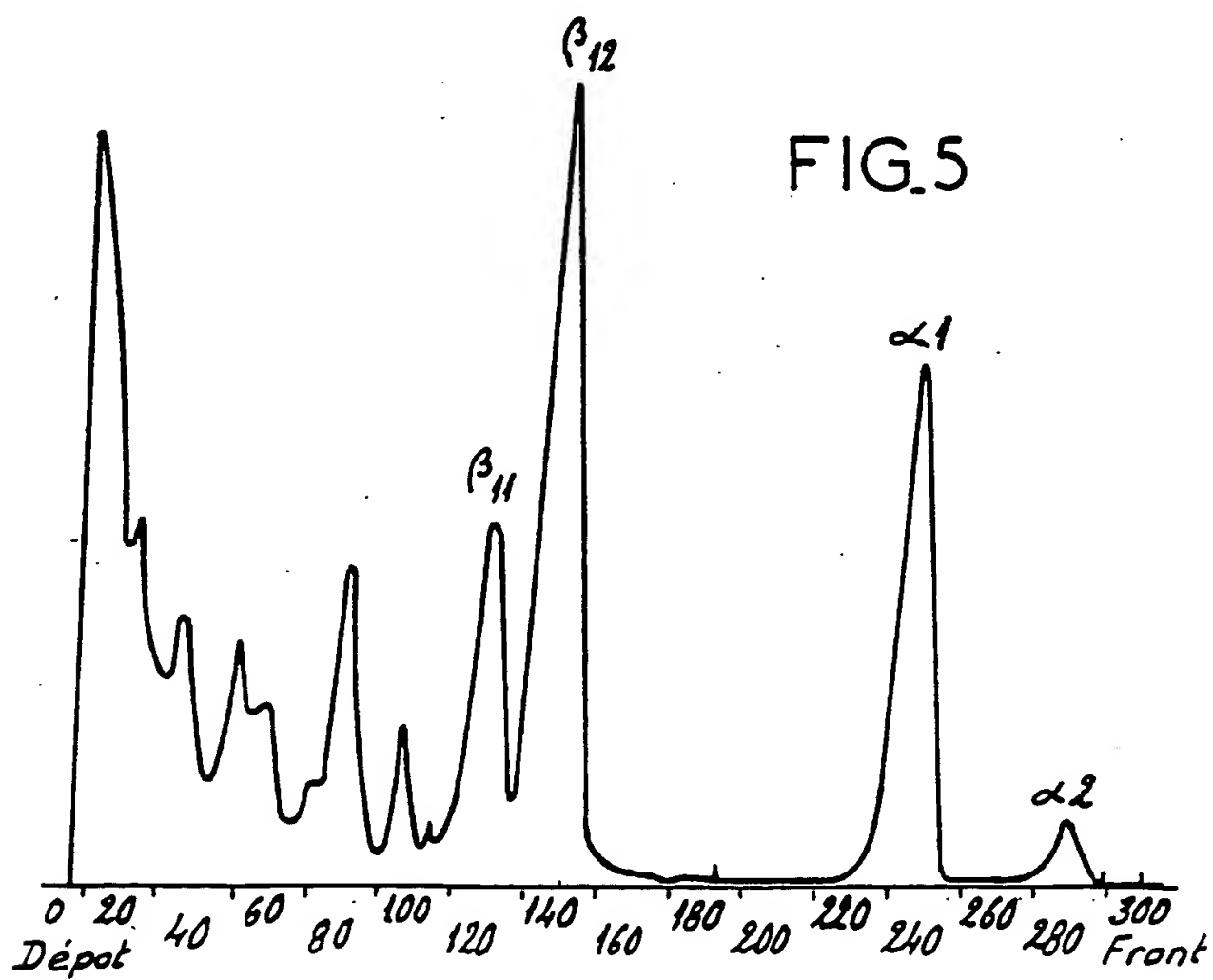
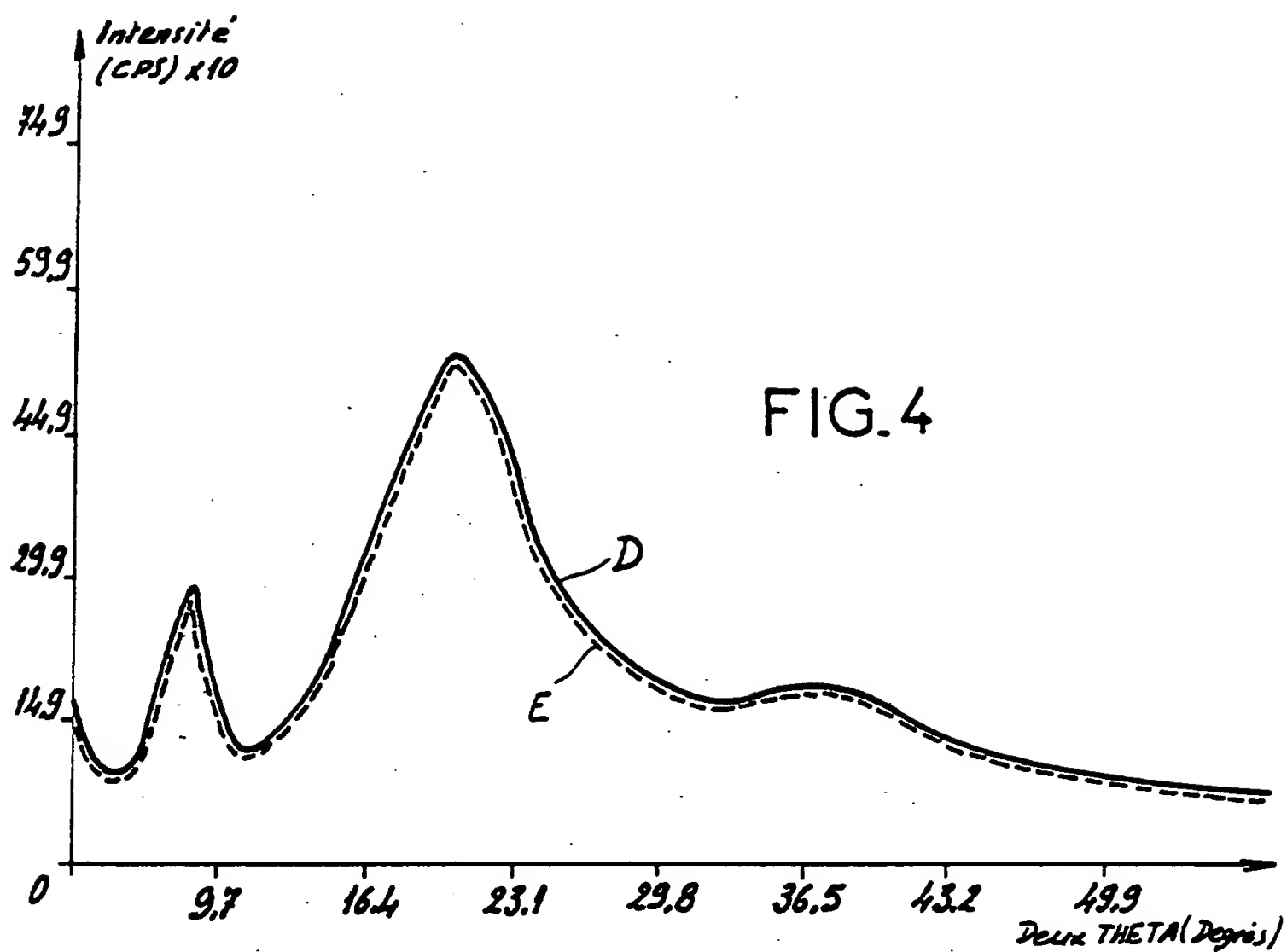


FIG.1





# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No PCT/FR 88/00303

<b>I. CLASSIFICATION F SUBJECT MATTER</b> (If several classification symbols apply, indicate all) *		
According to International Patent Classification (IPC) or to both National Classification and IPC Int.Cl <sup>4</sup> A 61 L 27/00; A 61 L 15/04		
<b>II. FIELDS SEARCHED</b>		
Minimum Documentation Searched <sup>7</sup>		
Classification System	Classification Symbols	
Int.Cl <sup>4</sup>	A 61 L 27/00; A 61 L 15/04; A 61 L 15/01	
Documentation Searched other than Minimum Documentation to the extent that such Documents are Included in the Fields Searched *		
<b>III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <sup>9</sup></b>		
Category *	Citation of Document, <sup>11</sup> with indication, where appropriate, of the relevant passages <sup>12</sup>	Relevant to Claim No. <sup>13</sup>
A	EP, A, 0200574 (KATAKURA CHIKKARIN) 5 November 1986 see page 2, lines 10-22; claims 6,12 cited in the application --	1-19
A	EP, A, 0038628 (KUREHA KAGAKU) 28 October 1981 see page 1; claims 1,10 cited in the application -----	1-19
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>* Special categories of cited documents: <sup>10</sup></p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p> </div> </div>		
<b>IV. CERTIFICATION</b>		
Date of the Actual Completion of the International Search		Date of Mailing of this International Search Report
5 September 1988(05.09.88)		21 September 1988(21.09.88)
International Searching Authority		Signature of Authorized Officer
European Patent Office		



**ANNEX TO THE INTERNATIONAL SEARCH REPORT  
ON INTERNATIONAL PATENT APPLICATION NO.**

FR 8800303  
SA 22887

This annex lists the patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned international search report. The members are as contained in the European Patent Office EDP file on 15/09/88. The European Patent Office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information.

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP-A- 0200574	05-11-86	JP-A- 61253065	10-11-86
EP-A- 0038628	28-10-81	JP-A- 56131639	15-10-81
		AU-A- 6852181	24-09-81
		US-A- 4378017	29-03-83
		CA-A- 1147507	07-06-83
		AU-B- 535551	29-03-84
		JP-A- 56133344	19-10-81

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale N° PCT/FR 88/00303

<b>I. CLASSEMENT DE L'INVENTION</b> (si plusieurs symboles de classification sont applicables, les indiquer tous) <sup>7</sup>		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
CIB <sup>4</sup> : A 61 L 27/00; A 61 L 15/04		
<b>II. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTÉ</b>		
Documentation minimale consultée <sup>8</sup>		
Système de classification	Symboles de classification	
CIB <sup>4</sup>	A 61 L 27/00; A 61 L 15/04; A 61 L 15/01	
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où de tels documents font partie des domaines sur lesquels la recherche a porté <sup>9</sup>		
<b>III. DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS</b> <sup>10</sup>		
Catégorie <sup>*</sup>	Identification des documents cités, <sup>11</sup> avec indication, si nécessaire, des passages pertinents <sup>12</sup>	N° des revendications visées <sup>13</sup>
A	EP, A, 0200574 (KATAKURA CHIKKARIN) 5 novembre 1986 voir page 2, lignes 10-22; revendications 6,12 cité dans la demande	1-19
A	EP, A, 0038628 (KUREHA KAGAKU) 28 octobre 1981 voir page 1; revendications 1,10 cité dans la demande  -----	1-19
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><sup>*</sup> Catégories spéciales de documents cités: <sup>11</sup></p> <p>« A » document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>« E » document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p> <p>« L » document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</p> <p>« O » document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p> <p>« P » document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>« T » document ultérieur publié postérieurement à la date de dépôt international ou à la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</p> <p>« X » document particulièrement pertinent: l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive</p> <p>« Y » document particulièrement pertinent: l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier.</p> <p>« &amp; » document qui fait partie de la même famille de brevets</p> </div> </div>		
<b>IV. CERTIFICATION</b>		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale	
5 septembre 1988	21. 09. 88	
Administration chargée de la recherche internationale <b>OFFICE EUROPEEN DES BREVETS</b>	Signature du fonctionnaire autorisé  <b>P.C.G. VAN DER PUTTEN</b>	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE  
RELATIF A LA DEMANDE INTERNATIONALE NO.**

FR 8800303  
SA 22887

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche international visé ci-dessus.  
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 15/09/88  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP-A- 0200574	05-11-86	JP-A- 61253065	10-11-86
EP-A- 0038628	28-10-81	JP-A- 56131639	15-10-81
		AU-A- 6852181	24-09-81
		US-A- 4378017	29-03-83
		CA-A- 1147507	07-06-83
		AU-B- 535551	29-03-84
		JP-A- 56133344	19-10-81

EPO FORM P0472

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82